Environnement Canada Environment Canada

Application du modèle d'analyse d'utilisation de l'eau au bassin de la rivière Richelieu

L. Bernier

ÉTUDE Nº 22, COLLECTION DES SCIENCES SOCIALES

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
RÉGION DU QUÉBEC
DIRECTION DE LA PLANIFICATION ET DE LA GESTION DES EAUX
SAINTE-FOY (QUÉBEC) 1990

(Available in English on request)

91-05915/

Publié avec l'autorisation
du ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1990

N° de cat. En 36-507/22F

ISBN 0-662-95911-6

Table des matières

	Page
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vi
REMERCIEMENTS	vii
1. INTRODUCTION	1
1.1 Objectif de l'étude	1
1.2 Historique du modèle d'analyse de l'utilisation de l'eau	1
1.3 Choix du bassin de la rivière Richelieu	1
1.4 Traits dominants du bassin versant de la rivière Richelieu	1
1.5 Configuration du bassin de la rivière Richelieu	3
2. LA DEMANDE EN EAU	4
2.1 Utilisation municipale	4
2.1.1 Projections de population	5
2.2 Utilisation agricole	6
2.2.1 Abreuvement du bétail	6
2.2.2 Projections de croissance du bétail	6
2.2.2.1 Analyse des tendances passées	6
2.2.2.2 Élaboration des scénarios de croissance du bétail	7
2.3 Utilisation industrielle de l'eau	7
2.3.1 Enquête sur l'utilisation industrielle de l'eau	7
2.3.2 Analyse théorique	8
2.3.3 Évaluation globale du prélèvement d'eau à des fins industrielles	9
2.3.4 Scénarios de croissance industrielle	10
3. L'OFFRE EN EAU	10
3.1 Entrée de données hydrologiques	10
3.2 Contrainte d'un débit minimum	11
3.3 Variables non retenues	11
4. APPLICATION AU BASSIN DE LA RIVIÈRE RICHELIEU	11
4.1 Fonctionnement du modèle d'analyse d'utilisation de l'eau	11
4.2 Détails des calculs effectués à chaque noeud	13
4.3 Simulations historiques : module 8	13
4.4 Interprétation des résultats	14
4.4.1 Analyse détaillée de l'utilisation de l'eau selon divers scénarios	14
4.4.2 Analyse globale de l'offre en eau et de l'utilisation de l'eau	16
4.4.3 Analyse de la contrainte du débit minimum	16
5. CONCLUSION DE L'ÉTUDE ET RECOMMANDATIONS	16
5.1 Difficultés rencontrées lors de l'application du modèle	16
5.2 Orientations futures	17
6. NOTES	17
7. BIBLIOGRAPHIE	18

Table des matières (suite)

		Page
ANNEXE A	Variables physiographiques : sous-bassins de la rivière Richelieu	21
ANNEXE B	Évaluation des débits moyens annuels à chaque noeud du réseau selon les débits historiques enregistrés à la station Rapides Fryers	25
ANNEXE C	Simulation historique DTL (cas problèmes) pour l'année 2001 avec une contrainte de débit minimum de 80 m^3/s	31

Tableaux

2.1	Répartition de la population du bassin de la rivière Richelieu par noeud	4
2.2	Projections de population pour le Québec de 1982 à 2001	5
2.3	Projections de population pour la région sud de Montréal de 1982 à 2001	6
2.4	Répartition du bétail du bassin de la rivière Richelieu par noeud	6
2.5	Variation annuelle du cheptel de 1975 à 1987 au Québec	7
2.6	Scénarios de croissance du bétail	7
2.7	Prélèvement d'eau à des fins industrielles avec ajout des données théoriques au noeud Chambly	9
2.8	Scénarios de croissance industrielle	10

Illustrations

Figure 1.1	Modèle d'analyse d'utilisation de l'eau	1
Figure 1.2	Réseau hydrographique du bassin de la rivière Richelieu	2
Figure 1.3	Configuration du bassin de la rivière Richelieu	3
Figure 4.1	Procédure de mise en opération du modèle	12
Figure 4.2	Application régionale du modèle d'analyse d'utilisation de l'eau au bassin de la rivière Richelieu	13
Figure 4.3	Détails des calculs effectués à chaque noeud du réseau	13
Figure 4.4	Prélèvement annuel par catégorie utilisatrice	15

Résumé

Cette étude décrit la mise en application du modèle d'analyse d'utilisation de l'eau au bassin de la rivière Richelieu et relate les différentes étapes qui ont été suivies au cours de ce processus.

Elle fait état des principaux résultats qui ont été obtenus. Une comparaison de la disponibillté en eau par rapport à la demande évaluée selon plusieurs scénarios de croissance a été établie. L'étude fait ressortir que le bassin de la rivière Richelieu ne connaît pas de problème d'approvisionnement en eau et que l'offre est suffisamment élevée pour répondre aux besoins prévisibles.

L'ensemble des composantes du modèle n'a toutefois pu être considéré, faute de données suffisantes. Cette première phase servira donc de point de départ à la poursuite des études et au développement de bases de données qui sont essentielles à la mise en opération de ce modèle au niveau régional.

Abstract

This study describes the application of the water use analysis model to the Richelieu River basin and outlines the various steps involved in this process.

It provides the main results obtained. Water supply and demand, calculated on the basis of various growth scenarios, were compared. The study reveals that the Richelieu River Basin has no water supply problem and that the supply is sufficiently high to meet forecast requirements.

All components of the model could not be considered, however, since sufficient data was not available. Therefore, this first step will be used as a starting point for the implementation of the studies and the establishment of data bases which are essential to the application of this model at the regional level.

Remerciements

Des remerciements s'adressent à J.-Y. Pelletier, J. Haemmerli pour leurs commentaires et appui, à D. Burelle pour son support informatique tout au long du projet, de même qu'à D. Labonté et L. Duchesneau.

Nous tenons également à remercier D. Tate, A. Kassem, T. Hamory, D. Scharf et D. Lacelle de l'administration centrale pour leur excellente collaboration.

APPLICATION DU MODÈLE D'ANALYSE D'UTILISATION DE L'EAU AU BASSIN DE LA RIVIÈRE RICHELIEU

L. Bernier

1. INTRODUCTION

1.1 OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Cette étude vise essentiellement à identifier les principales étapes qui ont été suivies dans l'application du modèle national d'analyse de l'utilisation de l'eau, plus particulièrement au bassin de la rivière Richelieu, et à présenter les différents résultats d'analyse.

1.2 HISTORIQUE DU MODÈLE D'ANALYSE DE L'UTILISATION DE L'EAU

Le modèle d'analyse d'utilisation de l'eau (Water Use Analysis Model) a été développé, à compter de 1981, par Acres International Limited pour la Direction de la planification et de la gestion, Direction générale des eaux intérieures, et financé par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Au départ, l'étude était orientée en fonction des projets énergétiques au Canada dans le but d'identifier les besoins en eau dans les régions critiques sur une période projetée de 20 ans. Les phases subséquentes ont permis de perfectionner les études de simulation et de mettre en relation, l'offre, tant actuelle que future, avec la demande en eau et les besoins prévisibles. Le modèle d'analyse d'utilisation de l'eau peut, à titre d'exemple, faire ressortir les conflits entre différents usages de l'eau, l'utilisation optimale de l'eau par rapport à l'offre disponible et, éventuellement, la valeur économique de l'eau qui correspondrait à un accroissement ou à une diminution de l'offre. Sept phases de développement du modèle ont été réalisées mais cette étude se limite toutefois aux cinq premières phases du projet[1]. La figure 1.1 illustre le fonctionnement du modèle et toutes les variables qui doivent être considérées dans le processus d'analyse. Les prochains chapitres traiteront plus en détail des différents aspects de la demande et de l'offre en eau; mentionnons que les composantes eau souterraine et qualité de l'eau étaient en voie d'élaboration au moment de l'étude.

Le choix d'un bassin hydrographique et la mise sur pied de différentes bases de données sont essentiels au développement de l'expertise nécessaire à l'application du modèle, comme l'a démontré l'étude de la Saskatchewan-Nelson et la phase V du projet ACRES.

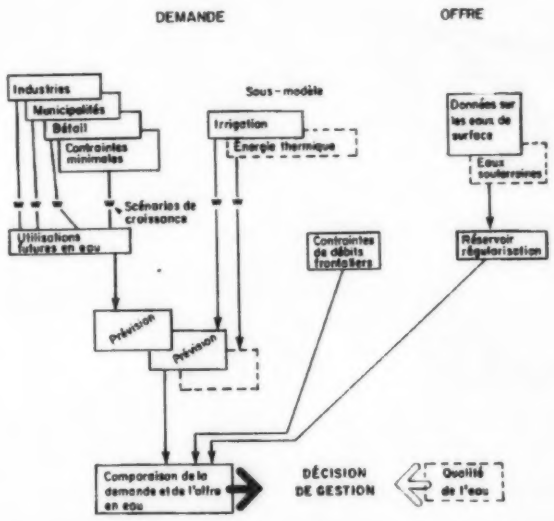


Figure 1.1 Modèle d'analyse d'utilisation de l'eau.

1.3 CHOIX DU BASSIN DE LA RIVIÈRE RICHELIEU

Le bassin de la rivière Richelieu a été choisi pour effectuer une première application du modèle au Québec puisque ce bassin était abondamment documenté et non régularisé[2]. La rivière Richelieu est, de plus, un tributaire du fleuve Saint-Laurent qui peut servir de point de départ à l'analyse des autres tributaires localisés sur la rive sud du fleuve. La figure 1.2 précise la situation géographique et les limites de ce bassin.

1.4 TRAITS DOMINANTS DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE RICHELIEU

Le bassin de la rivière Richelieu est situé au sud du fleuve Saint-Laurent et couvre une superficie

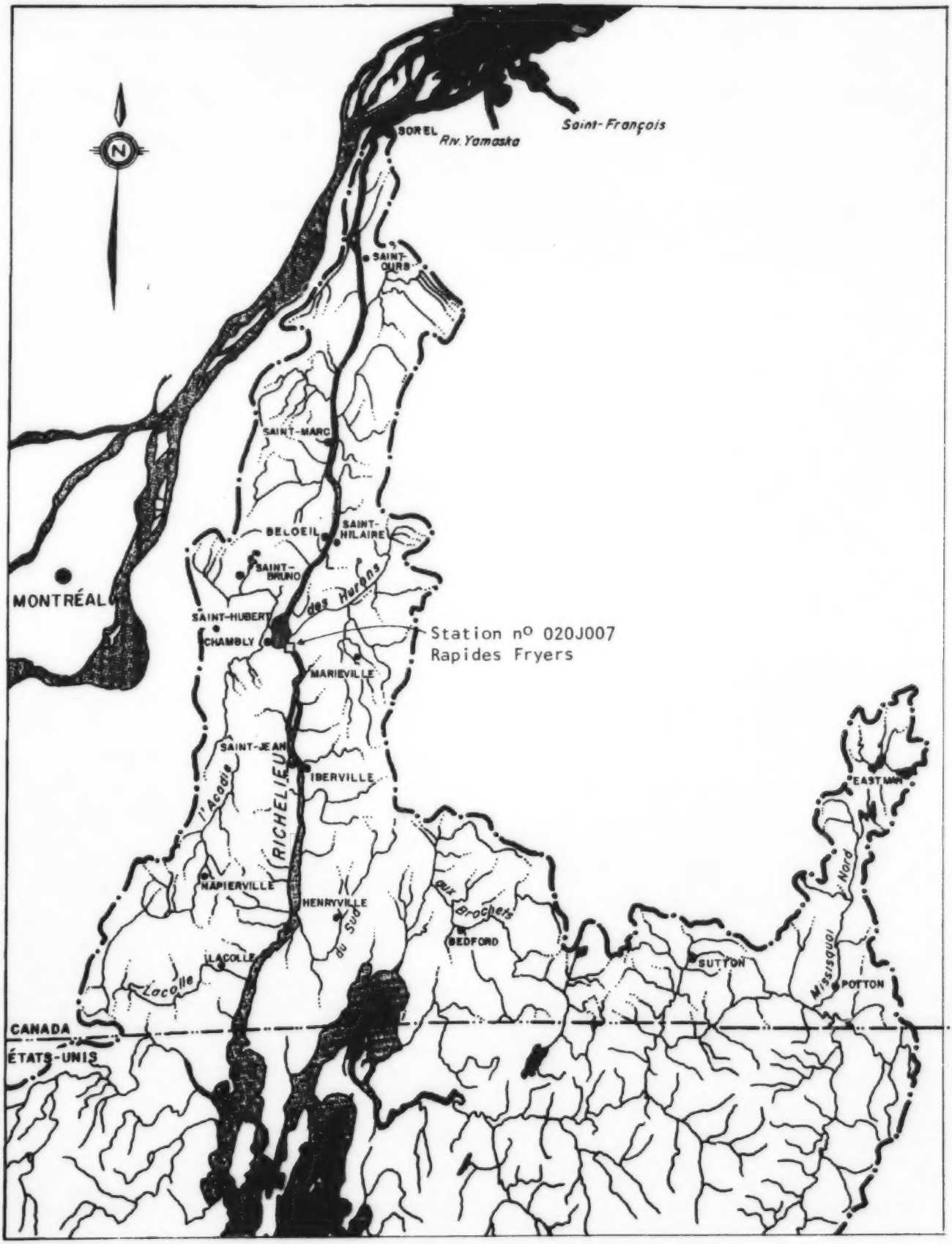


Figure 1.2 Réseau hydrographique du bassin de la rivière Richelieu.

de 23 880 km^2 dont seulement 3782 km^2 (16 %) appartiennent à la partie canadienne. Ce bassin, à cause de sa localisation par rapport à Montréal, a été l'objet d'un développement accéléré de 1961 à 1981; il comprend en totalité ou en partie 10 divisions de recensement soit: Brome, Missisquoi, Iberville, Saint-Jean, Napierville, Chambly, Verchères, Rouville, Saint Hyacinthe et Richelieu; dans cette étude seulement huit de ces divisions ont été considérées, les divisions de Brome et Missisquoi ayant été éliminées. Ces deux divisions ont d'ailleurs connu un taux de croissance relativement faible de 1961 à 1981. Les principaux centres urbains du bassin sont, selon la population de 1981: Saint-Jean (35 640), Saint-Bruno-de-Montarville (22 880), Sorel (20 347), Beloeil (17 540), Tracy (12 843), Chambly (12 190), Mont-Saint-Hilaire (10 066), Iberville (8587), Marieville (4877) et Otterburn Park (4268).

1.5 CONFIGURATION DU BASSIN DE LA RIVIÈRE RICHELIEU

Une des premières étapes nécessaires à l'application du modèle consiste à définir la configuration du bassin, c'est-à-dire à préciser le réseau hydrographique de même que les relations hiérarchiques entre chaque noeud ou station hydrologique du bassin.

La figure 1.3 illustre les liens entre les caractéristiques hydrologiques du bassin de la rivière Richelieu et la configuration réalisée afin de mettre en application le modèle. Plusieurs essais ont été effectués avant d'en arriver à cette configuration. La première configuration comportant 10 noeuds voulait considérer les principaux tributaires (sous-bassins) en les retenant comme noeuds et en y associant des données socio-économiques; cette configuration avait le mérite de respecter précisément le réseau hydrographique de la rivière Richelieu mais cette façon de procéder entraînait un déséquilibre dans l'analyse de la demande, c'est-à-dire dans la répartition des données socio-économiques à chaque noeud, et ne correspondait pas aux principales sources d'approvisionnement en eau des municipalités.

La configuration retenue pour fins d'analyse est une configuration à quatre noeuds qui sont situés à la frontière, à Chambly, à Beloeil et à Sorel; cette configuration exclut les rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche en ce qui a trait à l'analyse de la demande en eau, mais tient compte du débit

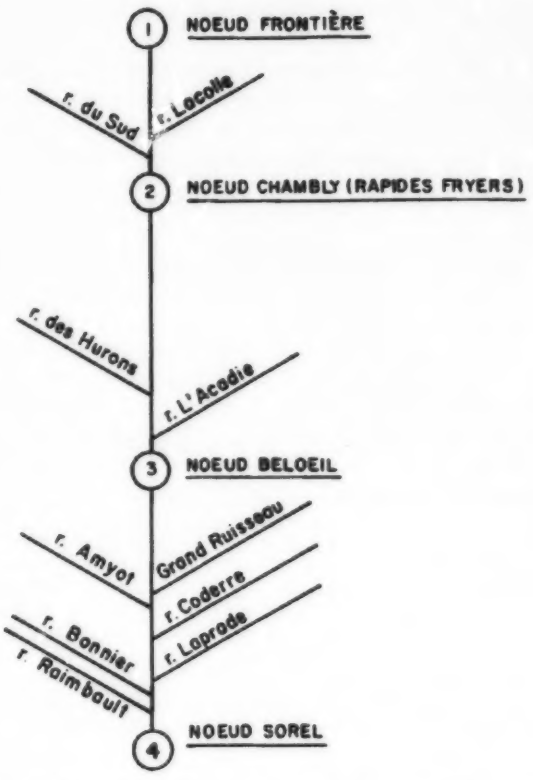


Figure 1.3 Configuration du bassin de la rivière Richelieu.

cumulé de ces trois cours d'eau au noeud <<frontière>>. Les autres principaux tributaires sont la rivière des Hurons (bassin versant de 300,5 km^2), la rivière L'Acadie (bassin versant de 510,0 km^2), la rivière du Sud (bassin versant de 143,5 km^2), la rivière Lacolle (bassin versant de 121,5 km^2), le Grand Ruisseau (bassin versant de 112,5 km^2), la rivière Amyot (bassin versant de 96,0 km^2), le ruisseau Coderre (bassin versant de 85,5 km^2), le ruisseau Laprade (bassin versant de 39,0 km^2), le ruisseau Bonnier (bassin versant de 53,6 km^2), et le ruisseau Raimbault (bassin versant de 15,5 km^2); la localisation de ces noeuds se limite essentiellement à la rivière Richelieu.

Le noeud appelé <<frontière>> est conçu comme un noeud de départ qui comprend des données hydrologiques mais ne comporte aucune donnée socio-économique. Étant donné la particularité de ce bassin dont la plus grande superficie est localisée aux États-Unis, cette façon de procéder est orientée en fonction de l'hypothèse

d'une stabilité de la croissance à la fois dans la partie américaine du bassin et dans les sous-bassins des rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche au Canada. Aucune vérification n'a été faite à cet égard et les débits historiques utilisés sont limités uniquement à la partie canadienne du bassin.

2. LA DEMANDE EN EAU

La demande en eau a été traitée sous trois principaux aspects, soit l'utilisation municipale, l'utilisation agricole et l'utilisation industrielle. Chacune de ces utilisations est examinée en termes de prélèvement d'eau et de consommation d'eau; l'année de référence est 1981.

2.1 UTILISATION MUNICIPALE

L'utilisation municipale dessert la population qui utilise l'eau à des fins domestiques, c'est-à-dire non industrielles et non agricoles. Pour ce faire, la population est divisée selon les régions urbaines et rurales et un taux correspondant de prélèvement per capita lui est attribué[3]. Au Québec, le prélèvement per capita en 1981 a été évalué à 625 L/j pour la population urbaine et à 160 L/j pour la population rurale[4].

La répartition de la population a été effectuée selon les municipalités des différentes divisions de recensement et selon les secteurs de dénombrement de chacune d'entre elles pour l'évaluation de la population urbaine et rurale. Toutes les municipalités qui s'alimentent à partir de la rivière

Tableau 2.1 Répartition de la population du bassin de la rivière Richelieu par noeud

NOEUD 2: CHAMBLY			NOEUD 3: BELOEIL			NOEUD 4: SOREL		
Municipalité	Population urbaine	Population rurale	Municipalité	Population urbaine	Population rurale	Municipalité	Population urbaine	Population rurale
Saint-Luc	6514	2301	Saint-Bruno-de Montarville	22880		Saint-Pierre-de Sorel	3175	1596
Saint-Jean	35640					Sorel	20347	
Iberville	8587		Beloeil	17540		Saint-Joseph de Sorel	2545	
Saint-Athanase		5138	McMasterville	3612		Tracy	12843	
Saint-Grégoire le Grand		1790	Otterburn Park	4268		Saint-Bernard (partie sud)		517
Chambly	12190		Saint-Basile-le-Grand	6657	1001			
Richelieu	1832					Saint-Roch-sur Richelieu		1650
Marieville	4877		Saint-Mathias		2929			
Notre-Dame-de Bon-Secours		1162	Saint-Jean-Baptiste		2726	Saint-Amable	2424	1844
			Napierville	2343		Saint-Denis (V)		861
			Mont-Saint-Hilaire	8323	1743	Saint-Marc		1545
			Carignan	2753	1791	Saint-Mathieu de Beloeil		1535
			Sainte-Madeleine	1361				
			Sainte-Marie-Madeleine		1516	Saint-Antoine-de-Padoue		585
						Saint-Antoine-sur-Richelieu		903
						Saint-Victoire-de-Sorel		2123
						Sainte-Julie	14243	
						Saint-Denis (P)		1135
						Saint-Ours (P)		1094
						Saint-Ours (V)		625
						Saint-Charles (P)		1038
						Saint-Charles (V)		401
Sous-total	69640	10391	Sous-total	69737	11706	Sout-total	55577	17452
TOTAL NOEUD 2: 80031			TOTAL NOEUD 3: 81443			TOTAL NOEUD 4: 73029		

Richelieu ont été retenues de même que les municipalités importantes (1000 et plus de population d'après la base de données nationale MUNDAT)[5]. Le tableau 2.1 établit la distribution de la population à chaque noeud. Il est à noter que la population a été répartie selon les sous-bassins où les municipalités s'approvisionnent et non pas selon les variables physiographiques. La population du bassin a ainsi été établie à 234 503; cette population est essentiellement urbaine dans une proportion de 83,1 %.

2.1.1 Projections de population

Neuf projections de population ont été retenues à partir de données publiées par Statistique Canada et le Bureau de la Statistique du Québec. Ces projections nous ont permis de calculer le taux annuel de croissance de 1982 à 2001. Statistique Canada a élaboré cinq projections nationales pour chacune des provinces et territoires et nous en avons conservé trois qui s'appliquaient au Québec. Le Bureau de la Statistique du Québec a développé des projections selon trois scénarios basés sur l'intensité de la croissance future de la population pour l'ensemble du Québec et pour chacune des régions administratives.

Étant donné que la majeure partie du bassin se situe dans la région sud de Montréal (Montérégie) et que les huit divisions de recensement du bassin sont comprises dans cette région, les trois projections de cette région administrative, qui sont de beaucoup supérieures à la moyenne québécoise, ont été ajoutées et considérées dans le fichier général de prévision. Il est à noter que de 1971 à 1981, l'accroissement de population s'est surtout concentré dans les principales villes du bassin soit, Chambly, Saint-Jean, Sorel, Beloeil et Saint-Bruno-de-Montarville. L'augmentation de la population la plus forte s'est produite dans la division de recensement de Chambly où le taux de croissance a été de 66,7 % de 1966 à 1986.

Ces projections ont l'avantage de fournir un très large éventail selon différentes hypothèses (scénarios faible, moyen et fort). Les projections de population régionales ne se sont toutefois pas concrétisées de 1981 à 1986 dans l'ensemble du bassin puisque la croissance moyenne a été seulement de 3,1 % durant cette période[6]. Le tableau 2.2 indique les projections de Statistique Canada et du Bureau de la Statistique du Québec selon différents scénarios pour l'ensemble de la province et le tableau 2.3 renseigne sur les projections régionales de population qui ont été considérées. Il est à noter que le taux de croissance diminue à partir de 1987 et que certaines projections ont même un taux de croissance négatif à partir de 1996.

Tableau 2.2 Projections de population pour le Québec de 1982 à 2001

I - SELON STATISTIQUE CANADA*			
	Scénario faible	Scénario moyen	Scénario fort
Année	Taux d'accroissement par mille	Taux d'accroissement par mille	Taux d'accroissement par mille
1982	6,7	6,7	6,7
1983	5,4	5,4	5,4
1984	5,5	5,3	5,5
1985	5,5	5,3	5,7
1986	5,4	5,4	5,9
1987	5,0	5,1	6,0
1988	4,5	4,9	6,1
1989	3,6	4,9	6,3
1990	3,0	4,6	6,3
1991	2,4	4,2	6,3
1992	1,8	3,7	6,0
1993	1,2	3,2	5,8
1994	0,8	2,7	5,6
1995	0,3	2,2	5,3
1996	-0,1	1,8	5,0
1997	-0,5	1,4	4,7
1998	-0,8	1,0	4,3
1999	-1,2	0,7	3,9
2000	-1,5	0,4	3,6
2001	-1,8	1,1	3,3
II - SELON LE BUREAU DE LA STATISTIQUE DU QUEBEC†			
1982	6,7	6,7	6,7
1983	5,4	5,4	5,4
1984	4,1	4,2	4,4
1985	3,4	4,7	5,1
1986	3,1	5,4	5,8
1987	3,1	6,0	6,4
1988	3,1	6,2	6,9
1989	3,0	6,0	7,3
1990	2,9	5,7	7,6
1991	2,6	5,5	7,9
1992	2,3	5,3	7,7
1993	2,0	5,0	7,3
1994	1,6	4,6	6,9
1995	1,2	4,1	6,7
1996	0,9	3,8	6,3
1997	0,6	3,4	5,9
1998	0,3	3,1	5,5
1999	0,0	2,8	5,2
2000	-1,7	2,5	4,9
2001	-0,4	2,3	4,6

*Source : Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires 1984-2006. Catalogue 91-520.

†Source : Bureau de la Statistique du Québec. Perspectives démographiques, 1981-2006.

Tableau 2.3 Projections de population pour la région sud de Montréal de 1982 à 2001

Année	Scénario faible	Scénario moyen	Scénario fort
	Taux d'accroissement par mille	Taux d'accroissement par mille	Taux d'accroissement par mille
1982	11,5	11,5	11,5
1983	11,5	11,5	11,5
1984	9,9	10,0	10,1
1985	8,9	15,9	16,3
1986	8,3	16,1	16,5
1987	8,1	16,1	16,6
1988	7,8	15,7	16,5
1989	7,4	15,0	16,4
1990	7,0	14,3	16,3
1991	6,6	13,7	16,1
1992	6,0	13,0	15,4
1993	5,4	12,3	14,6
1994	4,8	11,4	13,7
1995	4,2	10,6	13,1
1996	3,6	9,8	12,3
1997	3,1	9,1	11,5
1998	2,6	8,5	10,9
1999	2,2	7,8	10,2
2000	1,8	7,3	9,7
2001	1,4	6,8	9,1

Source : Bureau de la Statistique du Québec, Perspectives démographiques, 1981-2006, Québec 1984.

2.2 UTILISATION AGRICOLE

2.2.1 Abreuvement du bétail

L'abreuvement du bétail est évalué selon un prélèvement per capita par jour et un taux de consommation correspondant pour chacune des catégories recensées. Pour ce faire, la répartition du bétail selon les différents types (bovins,vaches laitières, porcs, moutons, chevaux, poulets et dindons) a été établie pour chacun des noeuds du bassin.

Cette répartition a été effectuée sur la base des divisions de recensement qui ne correspondaient pas exactement au territoire à l'étude; ces divisions ont été considérées dans leur ensemble et ont été distribuées à chaque noeud selon la majeure partie de la superficie qui y était localisée. Aux fins de traitement des données dans le cadre du modèle, ces chiffres ont dû être arrondis au mille près, ce qui diminue de beaucoup la précision pour un bassin de la dimension de celui de la rivière Richelieu. Le tableau 2.4 indique la répartition du bétail selon les différentes catégories à chaque noeud.

Tableau 2.4 Répartition du bétail du bassin de la rivière Richelieu par noeud

Bétail	Noeud 2 : Chambly	Noeud 3 : Beloeil	Noeud 4 : Sorel
Bovins	18503	15253	20252
Vaches laitières	20363	17564	24269
Chevaux	492	900	929
Porcs	68288	201403	122496
Moutons	992	2137	3644
Poulets et dindons	209201	1305294	1367289

Noeud 2 : Chambly comprend les divisions de recensement d'Iberville et de Saint-Jean.
Noeud 3 : Beloeil comprend les divisions de recensement de Rouville et de Chambly et de Napierville.
Noeud 4 : Sorel comprend les divisions de recensement de Richelieu, de Saint-Hyacinthe et de Verchères
Source : Statistique Canada.

Il est à noter que la région sud de Montréal (Montérégie) où se situe ce bassin, mais qui dépasse ses limites, est une région qui, en 1981, détenait une proportion importante du cheptel du Québec, c'est-à-dire 20,8 % des bovins, 23,6 % des vaches laitières, 35,8 % des porcs, 16,4 % des moutons et 30,9 % des volailles[7].

Cependant, cette analyse ne tient pas compte de la proportion du bétail qui s'alimente en eau souterraine. Comme selon certaines études, environ 80 % de l'eau utilisée pour abreuver le bétail est d'origine souterraine, on peut dès lors conclure que l'utilisation de l'eau de la rivière Richelieu pour fins d'abreuvement du bétail est négligeable comparativement aux utilisations municipale et industrielle[8]. Ces variables devront donc être prises en considération dans les études ultérieures puisqu'une évaluation plus précise du cheptel par noeud ne permettrait pas nécessairement d'arriver à des résultats concluants sans une connaissance exacte de la source d'approvisionnement en eau.

Les autres aspects de l'utilisation agricole telles les données relatives à l'irrigation n'ont pas été retenus, faute de données suffisantes. Les études antérieures ont démontré que l'irrigation se pratiquait peu dans le bassin mais qu'elle pourrait devenir plus importante à long terme[9].

2.2.2 Projections de croissance du bétail

2.2.2.1 Analyse des tendances passées

Les scénarios de croissance du bétail ont été élaborés à partir de l'analyse des tendances passées qui a été effectuée pour toutes les divisions de recensement comprises dans le bassin de 1971 à 1981; cette analyse a démontré que la variation du cheptel dans le bassin était à peu près similaire à

celle connue par l'ensemble du Québec durant la même période pour les bovins et les vaches laitières mais qu'elle différait pour les porcs, les moutons et agneaux et les volailles. En effet, toujours durant cette même période, les porcs ont presque quadruplé dans l'ensemble du bassin mais n'ont augmenté que de 2,5 % au Québec; les moutons ont quant à eux presque doublé dans les limites du bassin alors qu'ils connaissaient une croissance de 26,8 % au Québec.

2.2.2.2 Élaboration des scénarios de croissance du bétail

L'évolution dans la variation du cheptel après 1981 nous indique qu'il faut être prudent dans l'élaboration des scénarios de croissance et ne pas se concentrer uniquement sur la période 1971–1981; les tendances de la période 1971–1981 se maintiennent en grande partie pour les bovins et les vaches laitières mais diffèrent totalement pour les moutons et les porcs. Le tableau 2.5 donne un aperçu de la variation annuelle dans l'ensemble du Québec pour ces trois catégories.

Tableau 2.5 Variation annuelle du cheptel de 1975 à 1987 au Québec

Année*	Bovins	Vaches laitières	Moutons et agneaux
1975-76	-5,2 %	-4,2 %	-10 %
1976-77	-3,9 %	-0,9 %	-6,9 %
1977-78	-5,2 %	-3,6 %	4,4 %
1978-79	0,3 %	-0,7 %	26,3 %
1979-80	3,3 %	1,5 %	21,7 %
1980-81	2,8 %	2,3 %	12,3 %
1981-82	-0,9 %	-1,8 %	10,8 %
1982-83	-2,1 %	-2,7 %	6,7 %
1983-84	-2,7 %	-0,4 %	-2,3 %
1984-85	0,3 %	-2,2 %	-2,4 %
1985-86	-0,5 %	-2,2 %	-2,5 %
1986-87	-0,9 %	-2,8 %	-1,3 %

*Données compilées à partir du 1er juillet de chaque année.
Source : Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Bovins et ovins dans les fermes.

Afin d'élaborer des projections pour les bovins et les vaches laitières, la moyenne de l'accroissement annuel a été établie pour l'ensemble du Québec au cours de la période 1975–1985; les écarts extrêmes, au cours de la période 1980–1986 ont été retenus pour les scénarios faible et fort. La même méthode a été employée pour les scénarios sur la croissance des autres types de cheptel tout en faisant l'ajustement à la moyenne québécoise. Le taux de croissance des porcs et moutons a été inférieur à la moyenne québécoise pour le bassin de la rivière Richelieu durant la période 1982–1985 alors qu'il l'avait largement dépassé durant la période 1971–1981; ce manque d'uniformité dans l'évolution de ces catégories de cheptel nous a incitée à choisir des scénarios avec des écarts considérables entre le scénario fort et le scénario faible.

Étant donné que les statistiques étaient moins précises sur les chevaux et la volaille, nous avons simplement tenu compte de l'évolution de ces catégories au Québec de 1971 à 1981 pour le scénario moyen avec un facteur d'augmentation ou de diminution pour les deux autres.

Le tableau 2.6 renseigne sur les scénarios qui ont été incorporés au modèle pour le bassin de la rivière Richelieu. Ces scénarios diffèrent quelque peu de ceux des autres provinces puisque les écarts y sont plus élevés mais l'adaptation au niveau régional et la variation considérable, au cours des cinq dernières années, expliquent le choix des scénarios retenus.

Tableau 2.6 Scénarios de croissance du bétail

	(Taux de croissance en %)		
	Faible	Moyen	Fort
Bovins	-2,7	-1,2	2,8
Vaches laitières	-2,8	-1,9	2,3
Porcs	-2,8	3,7	7,7
Moutons	-2,5	0	6,7
Chevaux	-1,1	-0,9	0,4
Dindes et volailles	1,2	2,4	4,8

2.3 UTILISATION INDUSTRIELLE DE L'EAU

Afin d'analyser l'utilisation industrielle de l'eau, le modèle prend en considération 30 secteurs qui couvrent l'industrie manufacturière, l'extraction minière et la production de thermo-électricité. Pour chacun de ces secteurs, le modèle établit le prélèvement et la consommation d'eau au niveau général de la province ou de la région de même qu'au niveau du bassin et du sous-bassin ou noeud.

Deux principales sources de données ont servi à l'analyse, soit l'enquête sur l'utilisation industrielle de l'eau[10] et une évaluation théorique basée sur le nombre d'employés par usine[11].

2.3.1 Enquête sur l'utilisation industrielle de l'eau

Afin d'établir la répartition exacte des industries, nous avons examiné l'ensemble des questionnaires de l'enquête sur l'utilisation

industrielle de l'eau pour l'année 1981 entreprise conjointement par Environnement Canada et Statistique Canada. Il est à noter que cette enquête ne couvre que 11 des 17 secteurs de l'industrie manufacturière; toutefois les industries étudiées représentent la majeure partie du prélèvement total et de la consommation d'eau. Par exemple, l'enquête nationale a révélé que les quatre sous-groupes d'industries du papier et des produits connexes, des métaux primaires, des produits chimiques et connexes et des produits du pétrole et du charbon totalisent 91 % de l'alimentation totale et de l'effluent total et 87 % de la consommation totale[12].

Le premier exercice consistait donc à répertorier les industries à chaque noeud par secteur industriel selon les municipalités constituantes du bassin. Il est à noter que le noeud Chambly qui occupe plus du tiers de la main-d'oeuvre du bassin ne représente que 10,7 % du prélèvement total.

D'après l'enquête de 1981, le prélèvement d'eau à des fins industrielles est relativement faible dans le bassin de la rivière Richelieu puisqu'il représente à peine 20,9 millions de m^3 du prélèvement total du Québec évalué à 2,3 milliards de m^3.

Ceci peut s'expliquer par le type d'industries présentes dans le bassin. Par exemple, le bassin compte peu d'industries des quatre sous-groupes grands utilisateurs d'eau déjà mentionnés. De plus, le prélèvement des industries localisées à Tracy a dû être réévalué à la baisse puisqu'après vérification, il s'est avéré que certaines d'entre elles tirent la presque totalité de leur eau du fleuve Saint-Laurent et non de la rivière Richelieu; dans ces cas précis, seulement la proportion du prélèvement d'eau dont la source d'approvisionnement était la rivière Richelieu a été retenue. À titre d'exemple, mentionnons qu'une industrie de Tracy prélevait 59,6 millions de m^3 d'eau dont seulement 2650 m^3 provenaient de la rivière Richelieu. Un seul de ces cas suffit à changer complètement les résultats d'analyse dans un bassin de la dimension de celui de la rivière Richelieu, comme nous le verrons plus loin dans l'application du modèle.

Le bassin compte seulement une industrie du secteur du papier et des produits connexes avec 25 employés, mais aucune industrie des produits du pétrole et du charbon. Après l'ajustement des données de Tracy, le secteur de l'industrie des métaux primaires du bassin obtenait un prélèvement qui n'était plus que de 6,3 millions de m^3 d'eau alors que ses cinq industries totalisaient 4278 employés. Par contre, six industries du secteur des produits chimiques et connexes ont un prélèvement de 11,5 millions de m^3 avec 790 employés. Cette analyse démontre donc que ces trois secteurs représentent 85 % du prélèvement total d'eau du bassin.

2.3.2 Analyse théorique

L'analyse théorique est basée sur le nombre d'employés par secteur industriel et sur des coefficients de prélèvement d'eau correspondants. Le nombre d'employés est tiré du répertoire industriel du Québec (Scott's) pour l'année 1982–1983 et les coefficients de prélèvement d'eau par employé sont établis selon la moyenne québécoise. Cette analyse ne distingue toutefois pas les employés de bureau des employés d'usine.

Au noeud Chambly, l'agglomération de Saint-Jean-Iberville monopolisait 40 % de la main-d'oeuvre industrielle du bassin mais les employeurs principaux étaient surtout concentrés dans le secteur de l'industrie du textile et du vêtement et le secteur de la fabrication d'appareils et de matériel électrique, qui sont de faibles utilisateurs d'eau. Cependant, 490 employés ont été répertoriés dans le secteur des produits chimiques et connexes et 1169 dans celui de l'industrie primaire du métal, ce qui pourrait représenter un prélèvement d'environ 32 millions de m^3 d'eau en se basant sur les coefficients moyens d'utilisation de l'eau.

Marieville et Chambly sont deux autres centres industriels importants avec respectivement 2136 et 1848 employés. Les employeurs principaux ne se situent toutefois pas dans les secteurs nécessitant un fort prélèvement sauf à Chambly où on dénotait une industrie de plus de 100 employés dans le secteur des produits chimiques et connexes et à Marieville une industrie de plus de 500 employés dans le secteur de l'industrie primaire du métal.

Au noeud Beloeil, une seule industrie du groupe des produits chimiques et connexes occupe 32 % de la main-d'oeuvre et 89 % du prélèvement industriel d'eau attribué à ce noeud alors que les autres industries se situent surtout dans le secteur des aliments et boissons.

Au noeud Sorel, l'agglomération Sorel-Tracy constitue un autre centre industriel important avec 7684 employés dont plus de 50 % appartiennent à

l'industrie primaire du métal. Comme la majeure partie de cette industrie est localisée à Tracy et qu'elle s'alimente au fleuve Saint-Laurent, le prélèvement théorique d'eau est moins significatif. Les autres employeurs principaux se situent dans le secteur du matériel de transport, celui de la machinerie et celui du textile.

Compte tenu de ces différents facteurs et du fait que l'année de référence ne correspond pas exactement à celle de l'enquête industrielle, l'analyse théorique n'a pas été retenue dans son ensemble; elle a été limitée aux secteurs qui n'étaient pas évalués dans l'enquête industrielle (tabac, meuble, cuir, machinerie, produits électriques, industries diverses pour les industries de 100 employés et plus) et aux quatre sous- groupes qui constituent les principaux utilisateurs d'eau. Les différences dans ces quatre sous-groupes entre les résultats théoriques et les résultats de l'enquête industrielle ont été notées essentiellement au noeud Chambly.

2.3.3 Évaluation globale du prélèvement d'eau à des fins industrielles

Le tableau 2.7 présente donc les données de l'enquête industrielle en indiquant le prélèvement d'eau et le nombre d'employés qui correspondent à chacun des secteurs et en ajoutant pour le noeud Chambly les industries qui ont été répertoriées d'après le répertoire industriel Scott's; cette deuxième hypothèse permet d'examiner les effets à long terme d'un prélèvement d'eau, à des fins industrielles, plus élevé à ce noeud. Le *Documentaire sur le bassin de la rivière Richelieu* avait d'ailleurs indiqué que le comté de Chambly avait connu le taux d'accroissement annuel moyen le plus fort de l'ensemble des comtés du bassin pour la période de 1961 à 1971. L'ajout de données théoriques à ce noeud aura des répercussions importantes dans les prévisions de la demande en eau, comme nous le verrons plus loin dans l'application du modèle.

Tableau 2.7 Prélèvement d'eau à des fins industrielles avec ajout des données théoriques au noeud Chambly

Secteur	Enquête industrielle sur l'utilisation de l'eau		Ajout des données théoriques	
	Nombre d'employés	Prélèvement (m^3)	Nombre d'employés	Prélèvement (m^3)
NOEUD 2 : CHAMBLY				
Aliments et boissons	451	408274		
Caoutchouc et matières plastiques	370	1010327		
*Cuir	-	-	478	172619
Textile	625	449418		
*Meubles	-	-	353	187250
*Papier et produits connexes	25	4262	249	7538948
*Industrie primaire du métal	-	-	1169	11612674
Fabrication du métal	636	343904		
*Produits électriques	-	-	1317	1386237
Matériel de transport	23	5852		
Produits minéraux non métalliques	89	18782		
*Produits chimiques et connexes	28	591	490	20487330
*Industries diverses	-	-	472	197575
Total	2247	2241410	4528	41582633*
NOEUD 3 : BELOEIL				
Aliments et boissons	485			
Matériel de transport	65			
Produits chimiques et connexes	416			
** Total	966	11789869**		
NOEUD 4 : SOREL (avec ajustements à Tracy)* **				
Aliments et boissons	108	130872		
Industrie primaire du métal-fer	1278	6301585		
Industrie primaire du métal-autres	2000	2650		
Matériel de transport	2500	385279		
Produits minéraux non métalliques	240	6234		
Produits chimiques et connexes	346	95473		
Total	6472	6922093		

* Évaluation théorique avec indice de prélèvement selon le nombre d'employés. Les évaluations des secteurs non répertoriés dans l'enquête sont basées sur des coefficients d'utilisation de l'eau tirés de sources américaines à partir de données canadiennes sur l'emploi tandis que les secteurs du papier, de l'industrie primaire du métal et des produits chimiques sont basés sur des moyennes québécoises.

** Pour des raisons de confidentialité, la répartition du prélèvement d'eau par secteur industriel n'a pas été indiquée à ce noeud.

***Le nombre d'employés correspond à l'ensemble des usines de Tracy, alors que le prélèvement tient compte seulement de l'eau retirée de la Richelieu. La centrale thermique de Tracy n'a pas été considérée puisqu'elle s'approvisionne à plus de 99,9% au fleuve Saint-Laurent.

Tableau 2.8 Scénarios de croissance industrielle

	SCÉNARIO FORT	SCÉNARIO FAIBLE
	Conseil économique du Canada* 1981-1990	Université de Toronto* 1981-1995
	POURCENTAGE ANNUEL DE CROISSANCE	
Industrie	Québec	Québec
1 Agriculture	-0,68	0,67
2 Forêt	4,52	1,29
3 Mines métalliques	4,17	0,05
4 Combustibles minéraux	3,20	2,52
5 Mines non métalliques	4,90	0,05
6 Aliments et boissons	1,38	0,78
7 Tabac	0,35	0,78
8 Caoutchouc et plastiques	2,75	0,67
9 Cuir	2,31	0,82
10 Textile	2,46	0,82
11 Bois	3,29	1,20
12 Meuble	2,74	1,20
13 Papier et produits connexes	4,15	1,63
14 Imprimerie	3,44	1,63
15 Métaux primaires, fer	3,50	0,82
16 Autres métaux primaires	2,19	0,82
17 Fabrication du métal	4,10	0,82
18 Machinerie	3,48	1,11
19 Matériel de transport	2,46	1,11
20 Produits électriques	4,05	-0,39
21 Produits minéraux non métalliques	3,65	1,57
22 Produits du pétrole et du charbon	1,66	0,67
23 Produits chimiques et connexes	2,54	0,67
24 Industries manufacturières diverses	3,34	-0,83
25 Construction	2,76	2,50
26 Transport	2,76	2,50
27 Centrales électriques	4,63	3,87
28 Autres services publics	2,76	2,50
29 Commerce	2,80	2,57
30 Autres	2,76	2,50

* Sans effets régionaux.

2.3.4 Scénarios de croissance industrielle

Les scénarios de croissance industrielle n'ont pas été modifiés; ces scénarios qui étaient déjà intégrés au modèle ont été élaborés par le Conseil économique du Canada (scénario fort) et par l'Université de Toronto (scénario faible). (Voir tableau 2.8.)

3. L'OFFRE EN EAU

L'évaluation de l'offre peut être effectuée à partir de deux principales sources de données, soit les eaux de surface et les eaux souterraines. Dans cette étude, seulement les données sur les eaux de surface ont été considérées, c'est-à-dire les débits moyens mensuels historiques.

3.1 ENTRÉE DE DONNÉES HYDROLOGIQUES

Les données hydrologiques des quatre noeuds ont été générées à partir d'une seule station, soit Rapides Fryers, qui était documentée sur une période de plus de 40 ans (1938 à 1981). Cet exercice n'a pas fait l'objet d'une analyse régionale mais de calculs théoriques à partir d'un module observé par répartition proportionnelle du débit à la superficie des différents sous-bassins. Le réseau hydrographique avec les limites des sous-bassins présenté dans le *Documentaire sur le bassin de la rivière Richelieu* a servi à ces calculs.

Le débit moyen annuel enregistré à la station Rapides Fryers est de 336 m^3/s pour une période d'enregistrement de 44 ans (1938–1981) alors que la superficie du bassin versant, cumulée à cette même station sur la rivière Richelieu, est de 22 032,4 km^2. À partir des superficies des

bassins versants cumulées sur la rivière Richelieu à différents points, les débits moyens annuels correspondants ont pu être établis pour chacun des noeuds ou stations à l'étude, selon la configuration du bassin qui avait été définie.

Par contre, aux fins de l'application du modèle, les débits insérés au fichier hydrologique sont des débits moyens mensuels. Ces débits ont été générés, pour chaque station ou noeud du réseau, sur la base des débits enregistrés aux Rapides Fryers (station n^{o} 020J007) pour la période d'observation 1938–1981.

L'annexe A1 renseigne sur les principales variables physiographiques des sous-bassins de la rivière Richelieu et l'annexe A2 indique les débits moyens mensuels pour la période 1938–1981 à chacun des noeuds; le modèle exige que la période de données soit similaire à chacun des noeuds.

3.2 CONTRAINTE D'UN DÉBIT MINIMUM

Le modèle permet de considérer un débit minimum dans l'analyse et s'assurer que ce débit est maintenu prioritairement à toutes les utilisations de l'eau analysées; le critère de détermination d'un débit minimum pourrait faire l'objet de nombreuses analyses qui devraient évaluer toutes les utilisations indirectes de l'eau ayant trait aux activités récréatives (pêche, natation, navigation, etc.) et à la protection du milieu aquatique. Même s'il nous était impossible de faire une telle analyse et que le choix d'un débit minimun est arbitraire à ce stade-ci, il nous a semblé toutefois important de retenir cette variable, afin d'obtenir des résultats plus diversifiés et d'avoir une approche plus globale du fonctionnement du modèle.

Le *Documentaire sur le bassin de la rivière Richelieu* indiquait, par analyse de fréquence des débits journaliers à la station Rapides Fryers pour la période 1938–1972, que le débit minimum, garanti avec une récurrence de 100 ans, était de 41 m^3/s et que ce débit suffisait amplement aux besoins municipaux et industriels prévisibles évalués à 1,93 m^3/s en 1986. Pour une période de récurrence de 2 ans, le débit minimum était de 84 m^3/s.

Au cours de la période 1938–1981, le minimum atteint a été de 66,8 m^3/s durant le mois d'octobre 1941. Les étiages de la rivière Richelieu surviennent généralement pendant les mois de septembre et octobre alors que la crue annuelle se produit en avril et mai. Pour cette étude, la contrainte du débit minimum a été portée à 80 m^3/s.

3.3 VARIABLES NON RETENUES

Plusieurs variables de l'offre en eau n'ont pu être retenues puisqu'elles étaient non applicables et qu'on ne disposait pas de données suffisantes; à titre d'exemple, mentionnons que l'offre en eau souterraine et les transferts d'eau entre bassins n'ont pas été évalués. De plus, nous avons posé l'hypothèse d'un noeud de départ fixe «frontière» dont les débits ont été générés au même titre que les autres.

4. APPLICATION AU BASSIN DE LA RIVIÈRE RICHELIEU

4.1 FONCTIONNEMENT DU MODÈLE D'ANALYSE D'UTILISATION DE L'EAU

À la phase V de son développement, le modèle d'analyse d'utilisation de l'eau était composé de 10 modules et de 19 fichiers dont 15 devaient être créés par l'utilisateur. Le modèle requiert la manipulation d'un nombre considérable de données mais offre beaucoup de souplesse à l'utilisateur dans la façon d'agencer les fichiers. Les 10 modules relèvent tous d'un programme différent que l'utilisateur doit mettre en opération; chacun des modules est alors associé au fichier correspondant. La figure 4.1 illustre les différents modules et fichiers et décrit la procédure de mise en opération. Plusieurs de ces aspects ont déjà été traités dans les sections ayant trait à la demande et l'offre en eau; ce chapitre se concentrera davantage sur les simulations historiques et sur les résultats obtenus par la mise en application du modèle.

Toutes les composantes du modèle n'ont pu être testées (par exemple, irrigation, réservoir, etc.). Par contre, la première application du modèle au bassin de la rivière Richelieu a permis d'effectuer des études de simulation qui n'indiquaient pas de problème majeur de quantité d'eau à plus ou moins long terme (la période de prévision pouvant aller jusqu'à 2001).

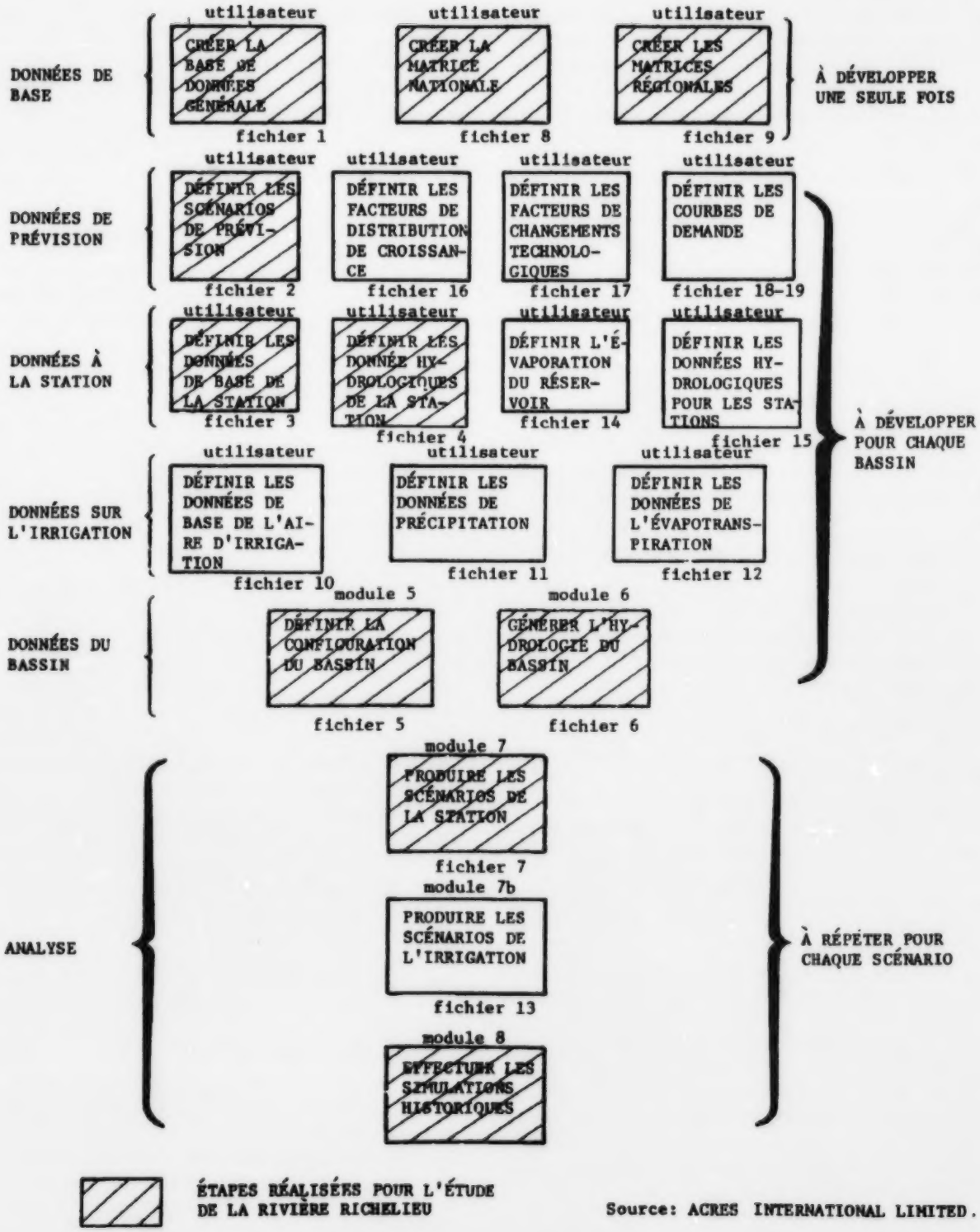


Figure 4.1 Procédure de mise en opération du modèle.

La figure 4.2 précise les différentes variables qui ont été prises en considération dans l'application régionale du modèle. Comme le reflète ce schéma, les résultats sont produits lors de la simulation historique (module 8). Cette simulation permet d'effectuer la synthèse des composantes offre et demande à partir de différents scénarios de croissance. Le modèle permet ainsi d'analyser les effets de différents scénarios de développement sur la disponibilité de l'offre en eau, au niveau du bassin versant.

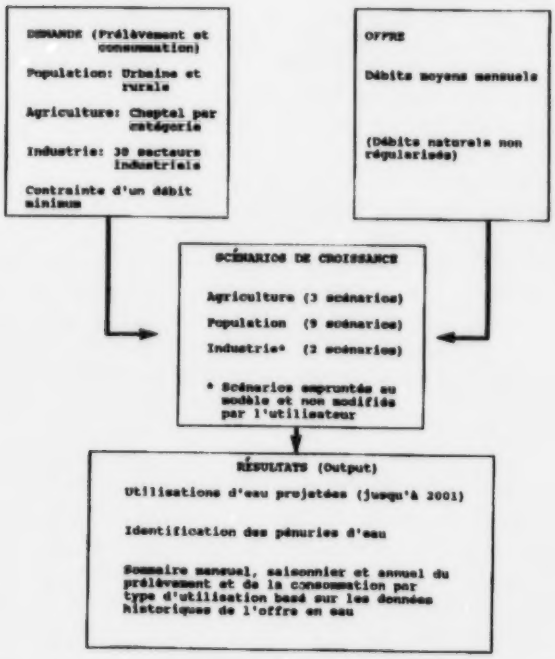
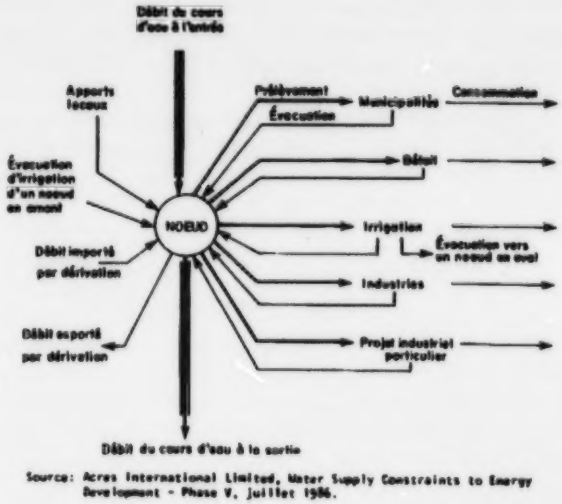


Figure 4.2 Application régionale du modèle d'analyse d'utilisation de l'eau au bassin de la rivière Richelieu.

4.2 DÉTAILS DES CALCULS EFFECTUÉS À CHAQUE NOEUD

Une fois les données socio-économiques (demande) et les données hydrologiques (offre) adaptées à la configuration du bassin, le modèle calcule la différence entre l'eau disponible et l'eau consommée selon les différents scénarios applicables à chacune des utilisations de l'eau; cette différence est acheminée au noeud suivant pour la suite des calculs. Cette façon de procéder est illustrée à la figure 4.3.



Source: Acres International Limited, Water Supply Constraints to Energy Development - Phase V, juillet 1986.

Figure 4.3 Détails des calculs effectués à chaque noeud du réseau.

Il est à noter que pour chacune des utilisations décrites au chapitre 2, le modèle évalue le prélèvement, c'est-à-dire l'ensemble de l'eau retirée de la source d'approvisionnement, et la consommation, c'est-à-dire la portion de l'eau utilisée qui n'est pas retournée au réseau; la consommation est un pourcentage du prélèvement qui est déterminé par le modèle selon les différentes utilisations et selon les différentes périodes de l'année.

4.3 SIMULATIONS HISTORIQUES : MODULE 8

Avant de pouvoir mettre en opération la simulation historique (module 8), il faut intégrer dans le module 7 le choix d'une année de prévision et des scénarios de croissance pour les données de population, de bétail et de l'industrie; les scénarios seront appliqués aux différents noeuds du réseau en fonction de l'année de prévision.

Les simulations historiques (module 8) constituent l'étape finale dans l'application du modèle. Elles permettent de mettre en relation l'offre et la demande. Les données historiques (débits mensuels) sont prises en considération dans l'analyse de l'offre (disponibilité en eau) tandis que la demande est évaluée selon différents scénarios de croissance pour chacune des années de prévision (1982 à 2001).

Les différentes possibilités de simulation historique (module 8) dans la comparaison de l'offre et de la demande sont :

Module 8; DTL : Analyse détaillée de l'offre et de la demande (prélèvement et consommation) pour chaque sous-bassin (noeud).

Module 8; SUM : Tableaux sommaires pour chaque noeud du réseau :

1) Comparaison entre le prélèvement total et l'offre totale en indiquant le pourcentage d'occurrence de prélèvement pour différents niveaux d'offre.

2) Comparaison de la consommation totale et de l'offre totale.

3) Comparaison entre le débit de sortie du cours d'eau et la contrainte du débit minimum.

Module 8; ANL : Sommaire annuel : comparaison entre l'offre, la demande et la consommation à chaque noeud.

Module 8; SNL : Sommaire des résultats par utilisation de l'eau et par saison.

Module 8; DMD : Demande prévue en eau (prélèvement et consommation) par utilisation pour différentes années de projection à chaque noeud.

4.4 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Les résultats doivent être interprétés avec réserve, compte tenu de toutes les difficultés d'application qui ont déjà été énumérées.

Diverses analyses ont été effectuées avec différents scénarios et différentes années de prévision en considérant des périodes de débits historiques variables de 1938 à 1981.

Il ressort de ces analyses que les utilisations municipale et industrielle sont prédominantes, dans l'ensemble du bassin, alors que le prélèvement d'eau, pour fins d'abreuvement du bétail, est relativement faible par rapport aux autres utilisations.

4.4.1 Analyse détaillée de l'utilisation de l'eau selon divers scénarios

Cette section a pour but d'examiner les répercussions de différents scénarios de croissance sur le prélèvement et la consommation d'eau à chaque noeud par rapport à différentes années de prévision. Pour ce faire, nous avons choisi un scénario faible et un scénario fort pour la population, le bétail et l'industrie avec une contrainte de débit minimum de 80 m^3/s pour les années de prévision 1991 et 2001. L'ensemble de la période de débits historiques (1938–1981) a été considérée.

Les scénarios de population faible et fort (scénarios 7 et 9) ont été établis d'après les prévisions régionales puisqu'elles étaient plus élevées que les autres et s'appliquaient plus adéquatement au bassin. Les scénarios de croissance de l'industrie (1 et 2) et du bétail (1 et 3) ont été détaillés dans la section sur la demande.

Les données de base sont demeurées les mêmes, à l'exception du secteur industriel où les données de l'enquête de 1981 furent considérées dans un premier temps et, par la suite, furent modifiées à la hausse au noeud Chambly en tenant compte des données théoriques.

La simulation historique DMD qui effectue des prévisions de prélèvement et de consommation d'eau a permis de constater, d'une part, l'influence des différents scénarios de croissance et, d'autre part, les changements que peut occasionner l'ajout des données théoriques du noeud Chambly sur les résultats obtenus.

Les effets à long terme des deux scénarios (faible et fort), sur l'équilibre entre l'offre et la demande en eau, n'ont pas été significatifs puisque les utilisations analysées (municipale, industrielle et abreuvement du bétail) étaient relativement mineures, compte tenu de l'offre disponible.

Par contre, l'utilisation industrielle évaluée de façon théorique au noeud Chambly occasionne une hausse importante du prélèvement qui se répercute dans l'ensemble du bassin.

Les analyses ont donc été poursuivies en se limitant à des scénarios de croissance forte et en retenant, dans certains cas, une évaluation théorique du prélèvement industriel de l'eau, afin de pouvoir identifier des problèmes potentiels au niveau du bassin.

Avec les données de l'enquête sur l'utilisation industrielle de l'eau, le noeud Beloeil représente 42 % du prélèvement total du bassin, à la fois pour les années 1991 et 2001. Avec l'ajout des données théoriques, le noeud Chambly accapare environ 55 % du prélèvement total pour les années 1991 et 2001.

Par contre, les scénarios de croissance élevée indiquent que, de 1991 à 2001, le prélèvement total du bassin augmente dans une proportion de 21 % avec les données de l'enquête industrielle sur l'utilisation de l'eau et dans une proportion de 27 % avec les données industrielles théoriques. La figure 4.4 représente la répartition entre les différentes utilisations pour l'année 2001, selon les scénarios de croissance forte. Le prélèvement maximum atteint 104,4 millions de m^3 au noeud Chambly avec l'ajout des données théoriques pour l'utilisation industrielle.

D'autre part, en se référant seulement à la consommation, c'est-à-dire à la quantité d'eau réellement utilisée ou non retournée à la source d'approvisionnement et, en excluant les données industrielles théoriques, la consommation d'eau annuelle à des fins municipales correspond pour l'année 1991 à 80 % de la consommation totale au noeud Chambly alors qu'elle se situe à 42 % au noeud Beloeil et à 57 % au noeud Sorel; toujours avec les mêmes scénarios, la consommation à des fins municipales représente 75 % de la consommation totale au noeud Chambly mais seulement 36 % au noeud Beloeil et 49 % au noeud Sorel pour l'année de prévision 2001.

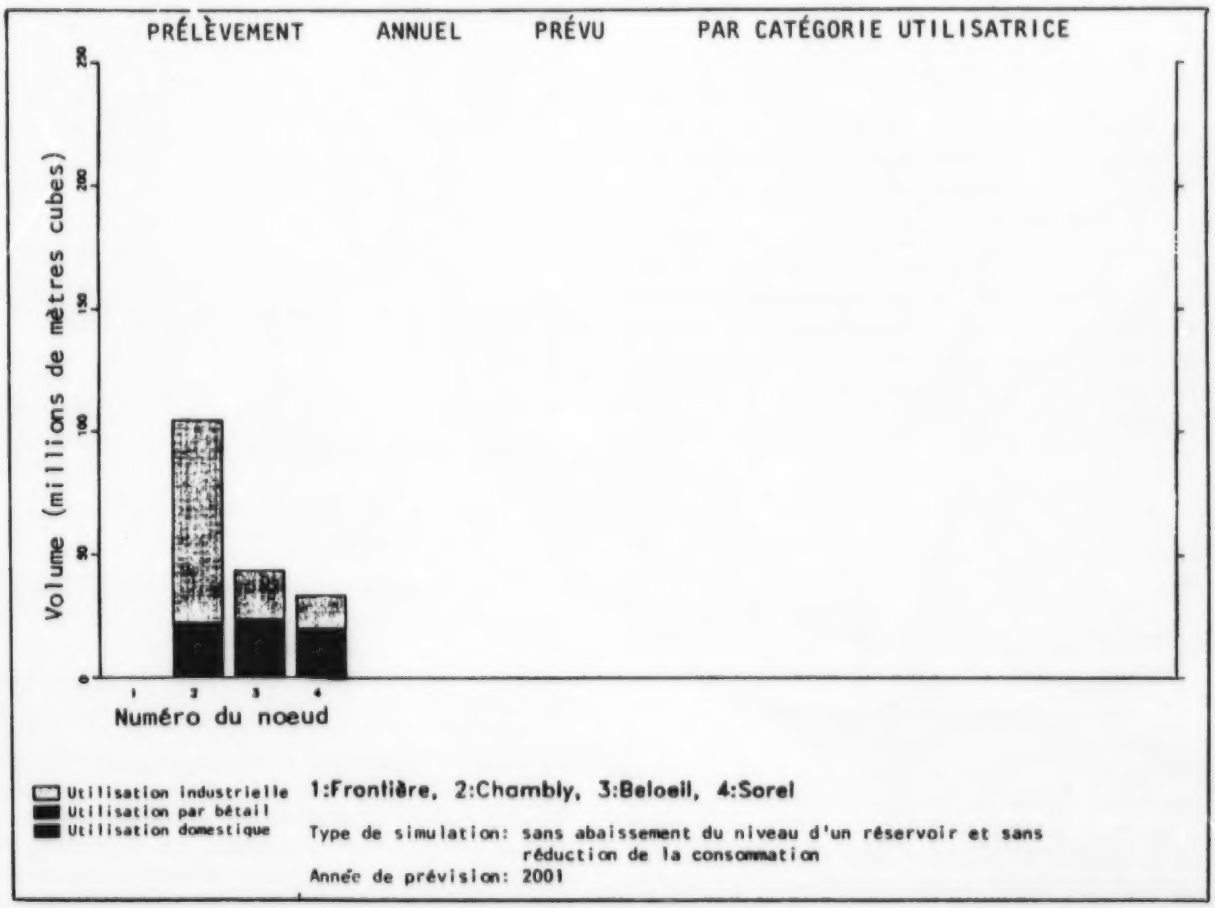


Figure 4.4 Prélèvement annuel par catégorie utilisatrice.

Avec l'ajout des données théoriques au noeud Chambly, la consommation à des fins industrielles atteint 72 % de la consommation totale attribuée à ce noeud pour l'année 1991 et 75 % pour l'année 2001 et dépasse ainsi la consommation à des fins municipales dans l'ensemble du bassin.

Ces analyses permettent de constater l'influence de différents scénarios sur l'équilibre entre les utilisations de l'eau et sur les priorités qui peuvent y être accordées. En effet, lorsque le modèle identifie des pénuries d'eau, la répartition de l'eau disponible peut être effectuée selon les priorités établies par l'utilisateur. Dans le cas de la rivière Richelieu, l'offre en eau était toujours suffisante pour répondre aux différentes utilisations.

4.4.2 Analyse globale de l'offre en eau et de l'utilisation de l'eau

La simulation historique (module 8 SUM) permet de mettre en relation l'offre totale et l'utilisation totale et de calculer la proportion de l'eau utilisée, sous forme de prélèvement ou de consommation, en comparaison de l'offre disponible pour les différents mois de l'année à chaque noeud du réseau. Les résultats obtenus par la comparaison sommaire de la demande en eau par rapport à l'offre disponible peuvent se comparer à ceux établis dans le cadre du *Documentaire sur le bassin de la rivière Richelieu*. Les prévisions des besoins municipaux et industriels en eau avaient alors été évaluées à 1,93 m^3/s pour l'année 1986, ce qui correspondait à 0,6 % du débit moyen annuel.

L'analyse effectuée par simulation historique, avec une contrainte de débit minimum maintenue à 80 m^3/s, a démontré que les prélèvements de l'eau étaient assez mineurs par rapport à la disponibilité en tenant compte des débits se rapportant à l'ensemble de la période à l'étude (1938–1981).

Pour les années de prévision 1991 et 2001, le prélèvement annuel moyen ne dépassait pas 1 % de l'offre totale annuelle moyenne aux noeuds Chambly, Beloeil et Sorel avec des scénarios de croissance élevée et avec l'ajout des données industrielles théoriques au noeud Chambly. Ce pourcentage peut varier durant les moments critiques de l'année et est évidemment plus élevé durant les mois d'août, septembre et octobre.

4.4.3 Analyse de la contrainte du débit minimum

Les seuls problèmes qui peuvent se manifester dans l'analyse de la disponibilité en eau du bassin de la rivière Richelieu se situent au niveau de la contrainte du débit minimum.

Le module 8 DTL, par une analyse détaillée de l'offre et de la demande en eau à chaque mois de l'année, indique les problèmes majeurs qui risquent d'être rencontrés et les souligne par un astérique lorsqu'ils se présentent aux différents noeuds :

a) le prélèvement total dépasse l'offre totale;

b) la consommation totale dépasse l'offre totale;

c) le débit de sortie du cours d'eau est moins que le débit minimum.

Les deux premiers problèmes ne furent jamais rencontrés, étant donné que l'offre totale est suffisante pour répondre aux besoins prévisibles. La troisième possibilité peut se produire dans des cas particuliers en retenant l'ensemble des débits historiques de la période à l'étude (1938–1981).

En effet, par simulation historique, le modèle s'assure qu'un débit minimum de 80 m^3/s, prioritaire à toutes les autres utilisations, soit maintenu. Comme l'ensemble des autres utilisations n'atteint pas 1 % de l'offre annuelle moyenne disponible, cette contrainte peut être rencontrée dans la plupart des cas (annexe B).

5. CONCLUSION DE L'ÉTUDE ET RECOMMANDATIONS

5.1 DIFFICULTÉS RENCONTRÉES LORS DE L'APPLICATION DU MODÈLE

Les principaux problèmes survenus lors de l'application du modèle se sont surtout concentrés au niveau du manque de données suffisantes pour répondre aux conditions préalables de sa mise en opération.

Les données hydrologiques (débits historiques) étaient limitées à la station Rapides Fryers, puisqu'aucune des autres stations de la rivière Richelieu ne satisfaisait aux exigences du modèle quant à la période minimum requise de données. La fiabilité des données hydrologiques est essentielle à la poursuite des études, et des analy-

ses régionales plus poussées devraient compléter cette pénurie de données qui se retrouve dans la plupart des bassins au Québec.

D'autre part, la dimension du bassin de la rivière Richelieu par rapport à celle du bassin de la Saskatchewan-Nelson ou encore à celle du bassin de la Saint-Jean au Nouveau-Brunswick causait certaines difficultés. Par exemple, la répartition du bétail, sur la base des divisions de recensement, devenait non représentative à certains noeuds; de plus, l'utilisation industrielle attribuée à chaque noeud n'était pas aussi importante que le laissait croire le développement industriel du bassin, si on le compare à l'ensemble du Québec.

La répartition de la population, sur la base des municipalités composantes du bassin, peut aussi occasionner des difficultés pour les cas limitrophes. En ce qui concerne la rivière Richelieu, nous avons pu reproduire assez fidèlement les municipalités qui s'y alimentaient mais nous avons également considéré les tributaires importants sans toutefois exclure les municipalités qui pouvaient s'approvisionner en eau souterraine; il faut cependant préciser que, d'après la base de données MUNDAT, l'alimentation des municipalités en eau souterraine est très minime dans le bassin de la rivière Richelieu.

Comme nous l'avons déjà souligné, certaines variables du modèle n'ont pu être mises en application puisque nous ne disposions pas de données adéquates. D'autre part, l'objectif initial de se familiariser avec le modèle d'analyse de l'utilisation de l'eau et de l'appliquer au niveau régional a été atteint; les simulations historiques ont pu être réalisées et les divers tests effectués ont permis de constater que le prélèvement et la consommation d'eau pouvaient varier de façon cohérente avec les hypothèses qui étaient posées.

5.2 ORIENTATIONS FUTURES

Cette étude a contribué à mettre en marche la constitution de bases de données socio-économiques (projections de population, recensement de 1981, répartition des industries, etc.) pouvant servir à des études ultérieures. Ces bases de données pourront être développées davantage en y insérant les données du recensement de 1986 et en examinant les possibilités de préciser leur répartition au niveau du sous-bassin.

L'étude sur le bassin de la rivière Richelieu voulait servir de point de départ afin de se familiariser avec le modèle d'utilisation de l'eau; de ce point de vue, l'expérience acquise est appréciable et les besoins régionaux par rapport à cet outil d'analyse sont maintenant connus. Même si les résultats doivent être interprétés avec réserve, les problèmes de quantité d'eau ne semblent pas prédominants dans le bassin de la rivière Richelieu.

Les analyses démontrent que le débit minimum peut être porté jusqu'à 80 m^3/s tout en répondant à l'ensemble des autres utilisations, à l'exception de quelques cas qui se réfèrent à des débits historiques extrêmes. Par contre, si la contrainte du débit minimum devait être supérieure à 80 m^3/s, les simulations indiquent que des problèmes pourraient survenir à certains moments critiques de l'année.

Une des difficultés d'interprétation de ces résultats est de ne pouvoir évaluer dans quelle mesure le débit minimum de 80 m^3/s satisfait aux autres utilisations de l'eau non définies au départ et au maintien de certaines normes ayant trait à la qualité de l'eau.

En effet, aucune conclusion sur l'approvisionnement en eau à long terme de ce bassin ne peut être établie sans examiner la question de la qualité de l'eau. Le modèle d'analyse de l'utilisation de l'eau pourra répondre plus adéquatement aux besoins régionaux lorsque ces aspects pourront être pris en considération parallèlement à l'analyse de la disponibilité en eau.

6. NOTES

(1) Acres Consulting Services Ltd., <<Water Supply Constraints to Energy Development>>, août 1982.

- Acres Consulting Services Ltd., <<Water Supply Constraints to Energy Development - Phase II, Summary Report>>, mai 1983.

- Acres Consulting Services Ltd., <<Water Supply Constraints to Energy Development - Phase II - Water Use Forecasting Model User's Manual>>, mai 1983.

- Acres Consulting Services Ltd. <<Water Supply Constraints to Energy Development - Phase III, Summary Report>>, juillet 1984.

- Acres International Limited, <<Water Supply Constraints to Energy Development - Phase IV, User's Manual>>, juillet 1985.

- Acres International Limited, <<Water Supply Constraints to Energy Development - Phase V, User's Manual>>, juillet 1986.

- Acres International Limited, <<Water Supply Constraints to Energy Development - Phase V, Summary Report>>, juillet 1986.

(2) Environnement Canada, *Documentaire sur le bassin de la rivière Richelieu*, Québec, 1976.

(3) Statistique Canada définit une région urbaine comme une région dont la concentration démographique est de 1000 habitants ou plus et dont la densité de population est de 400 habitants ou plus au kilomètre carré.

(4) Ces évaluations sont basées sur celles produites dans *l'Annuaire de l'eau du Canada* de 1976 tout en tenant compte d'un taux d'accroissement annuel.

(5) Environnement Canada, 1986, Inventaire national des équipements en eau des municipalités du Canada (MUNDAT).

(6) Les populations de 1986 sont tirées du *Répertoire des municipalités du Québec*, 1986.

(7) Bureau de la Statistique du Québec, *Portrait statistique régional, Région de la Montérégie et Municipalités régionales de comté*, 1987.

(8) Bulletin Terre, vol.7, n^{o} 3, décembre 1986.

(9) Environnement Canada, *Documentaire sur le bassin de la rivière Richelieu*, Québec, 1976.

(10) Environnement Canada, 1981, Enquête sur l'utilisation industrielle de l'eau, non publiée.

(11) Scott's, *Répertoire industriel du Québec*, 11^{e} édition, 1982-1983, Penstock Publications Limited.

(12) Donald M. Tate, et David N., Scharf, Environnement Canada, *Utilisation de l'eau dans les industries du Canada, 1981*, Étude n^{o} 19, Collection des sciences sociales, Ottawa, Canada, 1985, p. 8.

7. BIBLIOGRAPHIE

Acres International Limited. 1986. *Water Supply Constraints to Energy Development – Phase V, Summary Report*. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures. Document préparé pour Énergie, Mines et Ressources Canada. 156 p.

Acres International Limited. 1986. *Water Supply Constraints to Energy Development – Phase V, User's Manual*. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures. Document préparé pour Énergie, Mines et Ressources Canada. 65 p. plus annexes.

Environnement Canada. 1985. *Annuaire de l'eau du Canada, 1985: Utilisation des eaux*. 98 p.

Pêches et Environnement Canada. 1976. *Annuaire de l'eau du Canada, 1976*. 106 p.

Environnement Canada. 1976. *Documentaire sur le bassin de la rivière Richelieu*. Québec, 122 p.

Environnement Canada. 1983. *Données sur les eaux de surface*. Index de référence, Direction générale des eaux intérieures, Direction des ressources en eau, Division des relevés hydrologiques du Canada, Ottawa, Canada, 336 p.

Environnement Canada. 1986. *Water Use Analysis Project: Application of the Water Use Forecast Model to New Brunswick: Hydrologic Sub-Basins*. Région de l'Atlantique, Direction de la planification et de la gestion des eaux. 27 p.

Environnement Canada. 1986. *Results Definition Model. National Water Use Analysis Program*. Direction générale des eaux intérieures, Direction de la planification et de la gestion des eaux, Ottawa, Canada. 26 p.

Québec, Bureau de la Statistique. *Perspectives démographiques régionales 1981-2006*. Québec.

Québec, Bureau de la Statistique du Québec. 1987. *Portrait statistique régional*. Région de la Montérégie et municipalités régionales de comté.

Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. *Bovins et ovins dans les fermes*.

Catalogue annuel pour la période 1975–1976 à 1986–1987.

Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 1986. *Statistiques économiques*.

Québec, ministère des Affaires municipales. 1986. *Répertoire des municipalités du Québec*.

Québec, ministère de l'Environnement. 1986. *Répertoire hydrologique 1985*. Direction des relevés aquatiques, 148 p.

Scott's *Répertoire industriel du Québec*. 11e édition, 1982–1983. Penstock Publications Limited.

Statistique Canada. *Liste de référence des secteurs de dénombrement, Secteurs de recensement provinciaux*. Québec, catalogue 99–915.

Statistique Canada. *Population, Répartition géographique, Québec*. Recensement du Canada de 1981, catalogue 93–905.

Statistique Canada. 1986. *Circonscriptions électorales fédérales: Chiffres de population et des logements*. Catalogue 92–102.

Statistique Canada. *Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires, 1984–2006*. Catalogue 91–520.

Statistique Canada. *Statistiques du bétail et produits animaux*. Catalogue 22–003.

Statistique Canada. *Rapport des enquêtes sur le bétail*. Catalogues 23–203 et 23–008.

Statistique Canada. *Bétail et volaille dans les fermes*.
Recensement 1971, catalogue 96–706.
Recensement 1976, catalogue 96–805.
Recensement 1981, catalogue 96–914.

Tate, D.M., et D.N. Scharf. 1985. *Utilisation de l'eau dans les industries du Canada 1981*. Étude nº 19. Collection des sciences sociales, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la planification et de la gestion (eaux), Environnement Canada, Ottawa, Canada, 41 p.

Tate, D.M., et D.N. Scharf. 1981. *Industrial Water Use Survey Tables*, Volume 1. *Water Use in Manufacturing*, Volume 2, *Water Use in Mineral Extraction, Thermal Power and Hydro Power*, Environnement Canada, Direction de la planification et de la gestion des eaux, Division socio-économique, Ottawa.

Annexe A
Variables physiographiques : sous-bassins de la rivière Richelieu

Annexe A

Variables physiographiques : sous-bassins de la rivière Richelieu*

SOUS-BASSINS SUPERFICIES	DANS LA RICHELIEU À	SUPERFICIE (km^2)	SUPERFICIES CUMULÉES (km^2)
Superficie à la frontière			20098
Rivières Missisquoi et aux Brochets	**	**	**
Rivière Lacolle	Notre-Dame du Mont-Carmel	121,5	**
Rivière du Sud	Henryville	143,5	**
La Richelieu à l'amont des Rapides Fryers à Notre-Dame-de-Bon-Secours			22032,4
Rivière des Hurons	Saint-Mathias	300,5	**
Rivière L'Acadie	Chambly (cité)	510,0	**
Le premier Grand Ruisseau	Saint-Marc (P)	112,5	**
Rivière Amyot	Saint-Charles (P)	96,0	**
Ruisseau Coderre	Saint-Marc	85,5	**
Ruisseau Laprade	Saint-Roch-de-Richelieu	39,0	**
Ruisseau Raimbault	Saint-Ours(P)	15,5	**
La rivière Richelieu			23880

* Seuls les sous-bassins du côté canadien ont été considérés, cependant les superficies de la rivière Richelieu sont calculées depuis sa source.
** Chiffres non disponibles.
*** La superficie totale de la Richelieu se divise ainsi:
20098 km^2 (84 %) aux Etats-Unis
3782 km^2 (16 %) au Canada.

Sources : Québec, ministère des Richesses naturelles, Superficie des bassins versants du Québec, 1ère partie, 1979.
Environnement Canada, Documentaire sur le bassin de la rivière Richelieu, février 1976.

Annexe B

Évaluation des débits moyens annuels en pi^3/s à chaque noeud du réseau selon les débits historiques enregistrés à la station Rapides Fryers[1]

[1] Les débits ont été convertis en pi^3/s puisque le module 6 du modèle est configuré en mesures anglaises.

NOEUD 1 (Frontière)

ANNÉE	JANV.	FÉVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUILL.	AOÛT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
1938	4706	8764	12446	22710	17425	10264	6308	5456	7809	12378	9514	12583
1939	9582	7127	9889	26291	34441	19198	10435	6308	4058	4092	4092	3819
1940	3260	2687	2728	20153	32327	22847	12344	7434	4467	3785	5558	6104
1941	11287	8252	6888	15652	12890	8013	5456	3990	2875	2278	3372	3233
1942	4331	4194	9889	22301	21210	14151	9821	5217	3785	5013	5933	5217
1943	5285	5183	11526	18823	28507	21074	13810	9991	8150	5763	10639	9343
1944	6718	5933	7570	21858	26564	13879	8695	5081	3683	3751	4501	3921
1945	4910	5149	14799	27484	29189	21278	13367	8934	6888	18312	18448	12276
1946	9412	8218	18584	20153	16129	13810	7843	5149	4024	5865	9582	9582
1947	9957	13299	14492	28303	32702	37510	24995	13708	7843	5081	4501	3717
1948	2708	2568	9343	23563	18960	14629	9036	6649	4535	3376	5456	7434
1949	14629	11014	11935	21517	17220	9514	5149	3444	3785	3342	4365	4740
1950	8730	9446	8593	23836	21040	11321	6513	4126	4467	4126	4944	12481
1951	9684	10059	13504	32258	25234	13197	9446	6684	5354	4126	8423	9207
1952	10810	11628	10844	28132	23188	20324	11185	5388	4433	3990	3332	5626
1953	7025	10980	13435	26189	28610	15856	7775	4672	3853	2817	2916	3956
1954	3301	5524	16982	26700	31235	22676	13231	7604	7877	12822	11594	12140
1955	12412	8968	15788	29394	26291	14561	7093	5558	5388	5047	8354	5967
1956	4944	5081	5285	18857	28371	21040	10332	5456	4297	4501	3921	4092
1957	4092	5899	9377	13333	12890	10128	7638	5013	4126	3546	4638	7468
1958	11117	9821	9991	27212	30519	19335	10230	7195	5797	7127	11253	6649
1959	5592	6820	8934	29530	22131	12617	7331	3546	3185	4467	9684	16163
1960	12992	10707	10673	30690	26905	15106	7945	5149	4160	4876	7229	5490
1961	3615	2755	14151	17050	22813	15856	10707	7025	5933	5081	4808	5285
1962	3546	2786	5217	23972	23699	12140	6308	6649	5695	7877	10537	9650
1963	5354	4467	5149	30860	26359	14015	6206	4774	4842	4126	4944	5183
1964	4501	5797	11764	17971	17425	10878	5183	3410	3233	2769	2772	3055
1965	4126	4433	6308	8218	9923	5933	3580	2939	4160	7127	9309	11969
1966	10400	8218	16266	20835	18823	13504	6343	3649	3683	4194	4774	6138
1967	5661	5456	5251	17664	19062	14151	8286	5251	4569	5933	8013	10298
1968	8968	7707	12242	24552	19062	12446	8457	4740	3717	3410	4740	10571
1969	7672	8661	8764	28166	33588	21722	10503	6718	5456	4774	9002	11185
1970	8184	7741	10503	26325	30383	15652	7775	3785	3297	5047	6513	6206
1971	3819	4433	11355	25200	35805	20937	8832	5763	7331	6581	5388	7297
1972	8184	7331	9787	22608	36146	23563	16300	12617	6990	5456	9548	14799
1973	16607	18243	25200	31508	25575	23802	19062	10537	7331	8730	7979	13538
1974	21551	17425	19164	27621	31372	21074	12617	8695	7025	6718	7877	12446
1975	11594	9957	13435	20392	22915	13128	6274	3615	4501	9616	15174	16504
1976	10094	12719	25097	34100	27962	19983	13128	14186	13128	15038	16334	15311
1977	13401	9071	18584	30178	22745	11764	6377	4842	6411	18107	20562	17527
1978	15072	13265	12856	30758	30690	19232	11253	6240	4194	4399	4501	3649
1979	8559	10332	23086	30690	23733	15379	6820	4501	6547	7638	9684	11764
1980	10537	6649	6206	16982	15379	8968	4876	4297	5115	6172	7366	9343
1981	7331	12992	22267	20494	16607	11935	6649	6649	8184	14663	20358	15004

Débits en pi3/s

NOEUD 2 (Chambly)

ANNÉE	JANV.	FÉVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUILL.	AOÛT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
1938	4873	9076	12890	23520	18046	10630	6533	5650	8087	12819	9853	13031
1939	9923	7381	10241	27228	35668	19882	10806	6533	4202	4238	4238	3955
1940	3376	2783	2825	20871	33478	23661	12784	7699	4626	3920	5756	6321
1941	11689	8546	7134	16209	13349	8299	5650	4132	2977	2359	3493	3348
1942	4485	4344	10241	23096	21966	14656	10171	5403	3920	5191	6145	5403
1943	5474	5368	11936	19494	29523	21824	14302	10347	8440	5968	11018	9676
1944	6957	6145	7840	22637	27510	14373	9005	5262	3814	3885	4662	4061
1945	5085	5333	15327	28464	30229	22036	13843	9252	7134	18964	19105	12713
1946	9747	8511	19246	20871	16704	14302	8122	5333	4167	6074	9923	9923
1947	10312	13773	15009	29311	33867	38846	25886	14196	8122	5262	4662	3849
1948	2804	2659	9676	24402	19635	15150	9358	6886	4697	3496	5650	7699
1949	15150	11407	12360	22284	17834	9853	5333	3567	3920	3461	4520	4909
1950	9041	9782	8899	24685	21789	11724	6745	4273	4626	4273	5121	12925
1951	10029	10418	13985	33408	26133	13667	9782	6922	5544	4273	8723	9535
1952	11195	12042	11230	29135	24014	21048	11583	5580	4591	4132	3450	5827
1953	7275	11371	13914	27122	29629	16421	8052	4838	3991	2917	3019	4097
1954	3418	5721	17587	27651	32348	23484	13702	7875	8158	13278	12007	12572
1955	12855	9288	16351	30441	27228	15079	7345	5756	5580	5227	8652	6180
1956	5121	5262	5474	19529	29382	21789	10700	5650	4450	4662	4061	4238
1957	4238	6109	9712	13808	13349	10488	7910	5191	4273	3673	4803	7734
1958	11513	10171	10347	28181	31607	20023	10594	7451	6003	7381	11654	6886
1959	5792	7063	9252	30583	22919	13066	7593	3673	3298	4626	10029	16739
1960	13455	11089	11053	31783	27863	15644	8228	5333	4308	5050	7487	5686
1961	3743	2853	14656	17657	23626	16421	11089	7275	6145	5262	4979	5474
1962	3673	2885	5403	24826	24544	12572	6533	6886	5898	8158	10912	9994
1963	5544	4626	5333	31960	27298	14514	6427	4944	5015	4273	5121	5368
1964	4662	6003	12184	18611	18046	11265	5368	3531	3348	2868	2871	3164
1965	4273	4591	6533	8511	10277	6145	3708	3044	4308	7381	9641	12395
1966	10771	8511	16845	21577	19494	13985	6569	3779	3814	4344	4944	6357
1967	5862	5650	5438	18293	19741	14656	8581	5438	4732	6145	8299	10665
1968	9288	7981	12678	25427	19741	12890	8758	4909	3849	3531	4909	10948
1969	7946	8970	9076	29170	34785	22495	10877	6957	5650	4944	9323	11583
1970	8476	8016	10877	27263	31465	16209	8052	3920	3415	5227	6745	6427
1971	3955	4591	11760	26098	37080	21683	9146	5968	7593	6816	5580	7557
1972	8476	7593	10135	23414	37434	24402	16880	13066	7240	5650	9888	15327
1973	17198	18893	26098	32631	26486	24650	19741	10912	7593	9041	8264	14020
1974	22319	18046	19847	28605	32489	21824	13066	9005	7275	6957	8158	12890
1975	12007	10312	13914	21118	23731	13596	6498	3743	4662	9959	15715	17092
1976	10453	13172	25992	35315	28958	20694	13596	14691	13596	15574	16916	15856
1977	13879	9394	19246	31253	23555	12184	6604	5015	6639	18752	21295	18152
1978	15609	13737	13314	31854	31783	19917	11654	6463	4344	4556	4662	3779
1979	8864	10700	23908	31783	24579	15927	7063	4662	6780	7910	10029	12184
1980	10912	6886	6427	17587	15927	9288	5050	4450	5297	6392	7628	9676
1981	7593	13455	23060	21224	17198	12360	6886	6886	8476	15185	21083	15538

Débits en pi3/s

NOEUD 3 (Beloeil)

ANNÉE	JANV.	FÉVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUILL.	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
1938	5105	9508	13503	24639	18905	11136	6844	5919	8472	13429	10322	13651
1939	10396	7732	10729	28524	37366	20829	11321	6844	4402	4439	4439	4144
1940	3537	2915	2960	21864	35072	24787	13392	8065	4846	4107	6030	6622
1941	12246	8953	7473	16981	13984	8694	5919	4328	3119	2471	3659	3507
1942	4698	4550	10729	24195	23011	15353	10655	5660	4107	5438	6437	5660
1943	5734	5623	12505	20422	30928	22863	14983	10840	8842	6252	11543	10137
1944	7288	6437	8213	23714	28820	15057	9434	5512	3996	4070	4883	4254
1945	5327	5586	16056	29818	31668	23085	14502	9693	7473	19867	20015	13318
1946	10211	8916	20163	21864	17499	14983	8509	5586	4365	6363	10396	10396
1947	10803	14428	15723	30706	35479	40695	27118	14872	8509	5512	4883	4033
1948	2937	2786	10137	25564	20570	15871	9804	7214	4920	3663	5919	8065
1949	15871	11950	12948	23344	18683	10322	5586	3737	4107	3626	4735	5142
1950	9471	10248	9323	25860	22826	12283	7066	4476	4846	4476	5364	13540
1951	10507	10914	14650	34998	27377	14317	10248	7251	5808	4476	9138	9989
1952	11728	12616	11765	30521	25157	22049	12135	5845	4809	4328	3614	6104
1953	7621	11913	14576	28413	31039	17203	8435	5068	4181	3056	3163	4291
1954	3581	5993	18424	28968	33888	24602	14354	8250	8546	13910	12579	13170
1955	13466	9730	17129	31890	28524	15797	7695	6030	5845	5475	9064	6474
1956	5364	5512	5734	20459	30780	22826	11210	5919	4661	4883	4254	4439
1957	4439	6400	10174	14465	13984	10988	8287	5438	4476	3848	5031	8102
1958	12061	10655	10840	29523	33111	20977	11099	7806	6289	7732	12209	7214
1959	6067	7399	9693	32038	24010	13688	7954	3848	3455	4846	10507	17536
1960	14095	11617	11580	33296	29190	16389	8620	5586	4513	5290	7843	5956
1961	3922	2989	15353	18498	24750	17203	11617	7621	6437	5512	5216	5734
1962	3848	3023	5660	26008	25712	13170	6844	7214	6178	8546	11432	10470
1963	5808	4846	5586	33481	28598	15205	6733	5179	5253	4476	5364	5623
1964	4883	6289	12763	19497	18905	11802	5623	3700	3507	3004	3008	3315
1965	4476	4809	6844	8916	10766	6437	3885	3189	4513	7732	10100	12985
1966	11284	8916	17647	22604	20422	14650	6881	3959	3996	4550	5179	6659
1967	6141	5919	5697	19164	20681	15353	8990	5697	4957	6437	8694	11173
1968	9730	8361	13281	26637	20681	13503	9175	5142	4033	3700	5142	11469
1969	8324	9397	9508	30558	36441	23566	11395	7288	5919	5179	9767	12135
1970	8879	8398	11395	28561	32963	16981	8435	4107	3577	5475	7066	6733
1971	4144	4809	12320	27340	38845	22715	9582	6252	7954	7140	5845	7917
1972	8879	7954	10618	24528	39215	25564	17684	13688	7584	5919	10359	16056
1973	18017	19793	27340	34184	27747	25823	20681	11432	7954	9471	8657	14687
1974	23381	18905	20792	29966	34036	22863	13688	9434	7621	7288	8546	13503
1975	12579	10803	14576	22123	24861	14243	6807	3922	4883	10433	16463	17906
1976	10951	13799	27229	36996	30336	21679	14243	15390	14243	16315	17721	16611
1977	14539	9841	20163	32741	24676	12763	6918	5253	6955	19645	22308	19016
1978	16352	14391	13947	33370	33296	20866	12209	6770	4550	4772	4883	3959
1979	9286	11210	25046	33296	25749	16685	7399	4883	7103	8287	10507	12763
1980	11432	7214	6733	18424	16685	9730	5290	4661	5549	6696	7991	10137
1981	7954	14095	24158	22234	18017	12948	7214	7214	8879	15908	22086	16278

Débits en pi^3/s

NOEUD 4 (Sorel)

ANNÉE	JANV.	FÉVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUILL.	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
1938	5279	9832	13964	25479	19549	11515	7077	6121	8761	13887	10674	14117
1939	10750	7996	11094	29496	38639	21538	11706	7077	4553	4591	4591	4285
1940	3657	3015	3061	22610	36267	25632	13849	8340	5012	4246	6236	6848
1941	12663	9258	7728	17560	14461	8990	6121	4476	3225	2556	3784	3627
1942	4859	4706	11094	25020	23795	15876	11018	5853	4246	5624	6657	5853
1943	5930	5815	12931	21118	31982	23642	15494	11209	9143	6465	11936	10482
1944	7537	6657	8493	24522	29802	15570	9755	5700	4132	4208	5050	4399
1945	5509	5777	16603	30835	32747	23872	14997	10023	7728	20544	20697	13772
1946	10559	9220	20850	22610	18095	15494	8799	5777	4514	6580	10750	10750
1947	11171	14920	16259	31753	36688	42082	28042	15379	8799	5700	5050	4170
1948	3038	2881	10482	26435	21271	16412	10138	7460	5088	3787	6121	8340
1949	16412	12357	13390	24140	19319	10674	5777	3864	4246	3749	4897	5318
1950	9794	10597	9641	26741	23604	12701	7307	4629	5012	4629	5547	14002
1951	10865	11286	15150	36191	28310	14805	10597	7498	6006	4629	9449	10329
1952	12127	13045	12166	31562	26014	22801	12548	6045	4973	4476	3738	6312
1953	7881	12319	15073	29381	32097	17789	8722	5241	4323	3160	3271	4438
1954	3703	6198	19052	29955	35043	25440	14843	8531	8837	14384	13007	13619
1955	13925	10061	17713	32977	29496	16335	7957	6236	6045	5662	9373	6695
1956	5547	5700	5930	21156	31829	23604	11592	6121	4820	5050	4399	4591
1957	4591	6618	10521	14958	14461	11362	8569	5624	4629	3979	5203	8378
1958	12472	11018	11209	30529	34239	21691	11477	8072	6504	7996	12625	7460
1959	6274	7651	10023	33130	24828	14155	8225	3979	3573	5012	10865	18134
1960	14576	12013	11974	34431	30184	16948	8914	5777	4667	5471	8110	6159
1961	4055	3091	15876	19128	25594	17789	12013	7881	6657	5700	5394	5930
1962	3979	3126	5853	26894	26588	13619	7077	7460	6389	8837	11821	10827
1963	6006	5012	5777	34622	29572	15723	6963	5356	5432	4629	5547	5815
1964	5050	6504	13198	20161	19549	12204	5815	3826	3627	3106	3110	3428
1965	4629	4973	7077	9220	11133	6657	4017	3298	4667	7996	10444	13428
1966	11668	9220	18248	23375	21118	15150	7116	4093	4132	4706	5356	6886
1967	6351	6121	5891	19817	21385	15876	9296	5891	5126	6657	8990	11553
1968	10061	8646	13734	27545	21385	13964	9488	5318	4170	3826	5318	11859
1969	8608	9717	9832	31600	37683	24369	11783	7537	6121	5356	10100	12548
1970	9182	8684	11783	29534	34086	17560	8722	4246	3699	5662	7307	6963
1971	4285	4973	12739	28271	40169	23489	9908	6465	8225	7383	6045	8187
1972	9182	8225	10980	25364	40552	26435	18287	14155	7843	6121	10712	16603
1973	18631	20467	28271	35349	28692	26703	21385	11821	8225	9794	8952	15188
1974	24178	19549	21500	30988	35196	23642	14155	9755	7881	7537	8837	13964
1975	13007	11171	15073	22877	25708	14729	7039	4055	5050	10788	17024	18516
1976	11324	14270	28157	38256	31370	22418	14729	15915	14729	16871	18325	17177
1977	15035	10176	20850	33857	25517	13198	7154	5432	7192	20314	23069	19664
1978	16909	14882	14423	34507	34431	21577	12625	7001	4706	4935	5050	4093
1979	9602	11592	25900	34431	26626	17254	7651	5050	7345	8569	10865	13198
1980	11821	7460	6963	19052	17254	10061	5471	4820	5738	6924	8263	10482
1981	8225	14576	24981	22992	18631	13390	7460	7460	9182	16450	22839	16833

Débits en pi^3/s

Annexe C
Simulation historique DTL (cas problèmes) pour l'année 2001 avec une contrainte de débit minimum de 80 m^3/s

Historical Simulation: without reservoir drawdowns & without consumption cutbacks

Forecast Year: 2001
Season Months: May to Sept. (inclusive)

			Supply (MCM)						Intake (MCM)						Consumption (MCM)						Outflow	Minimum		Shortage (MCM)	
Year	Month	Node	Local	Upstream	Diversn	Irrigtn	Reservr	Total	Municipl	Livestk	Industl	Irrigtn	Total	%	Municipl	Livestk	Industl	Irrigtn	Total	%	MCM	MCM	Flag	Consume	Boundry
1940	Feb.	1	184.4	.0	0	.0	.0	184.4	.0	0	.0	0	.0	0	0	.0	.0	.0	.0	0	184.4	193.5	..!	0	0
1940	Feb.	2	6.2	184.4	.0	.0	.0	190.6	1.1	.1	6.8	.0	8.1	4	.2	1	1.4	.0	1.7	1	188.9	193.5	..!	0	0
1940	March	1	207.3	.0	.0	0	.0	207.3	.0	.0	.0	.0	.0	0	0	.0	.0	.0	.0	0	207.3	214.3	..!	0	0
1940	March	2	7.0	207.3	.0	.0	0	214.3	1.2	.1	6.8	0	8.2	4	.3	1	1.4	.0	1.8	1	212.5	214.3	..!	0	0
1941	Oct.	1	173.1	.0	.0	.0	.0	173.1	.0	.0	.0	.0	.0	0	.0	0	.0	0	.0	0	173.1	214.3	..!	0	0
1941	Oct.	2	5.8	173.1	.0	.0	0	178.9	1.8	.1	6.8	.0	8.7	5	.4	1	1.4	.0	1.9	1	177.0	214.3	..!	0	0
1941	Oct.	3	8.5	177.0	.0	.0	.0	185.5	1.8	.3	1.6	.0	3.7	2	.4	2	5	.0	1.1	1	184.4	214.3	..!	0	0
1941	Oct.	4	6.4	184.4	.0	.0	.0	190.9	1.5	.2	1.1	.0	2.8	1	.3	2	.2	.0	.7	0	190.2	214.3	..!	.0	0
1948	Jun.	1	205.7	.0	.0	.0	.0	205.7	.0	.0	.0	0	.0	0	.0	0	.0	.0	.0	0	205.7	214.3	..!	0	0
1948	Jun.	2	7.0	205.7	.0	.0	.0	212.7	1.2	.1	6.8	0	8.2	4	.3	1	1.4	.0	1.8	1	210.9	214.3	..!	0	0
1948	Feb.	1	176.2	.0	.0	.0	.0	176.2	.0	.0	.0	.0	.0	0	0	0	.0	.0	.0	0	176.2	193.5	..!	0	0
1948	Feb.	2	6.0	176.2	.0	0	.0	182.2	1.1	.1	6.8	.0	8.1	4	2	1	1.4	.0	1.7	1	180.4	193.5	..!	0	0
1948	Feb.	3	8.7	180.4	.0	.0	.0	189.1	1.1	.2	1.6	0	3.0	2	2	2	.5	.0	.9	0	188.2	193.5	..!	0	0
1953	Oct.	1	214.0	.0	.0	.0	0	214.0	.0	.0	.0	.0	.0	0	.0	0	.0	.0	.0	0	214.0	214.3	..!	0	0
1961	Feb.	1	189.1	.0	.0	0	.0	189.1	.0	.0	.0	.0	.0	0	.0	0	.0	0	.0	0	189.1	193.5	..!	.0	0
1962	Feb.	1	191.2	.0	.0	.0	.0	191.2	.0	.0	.0	.0	.0	0	.0	0	.0	.0	.0	0	191.2	193.5	..!	.0	0
1964	Oct.	1	210.4	0	.0	.0	0	210.4	.0	.0	.0	.0	.0	0	.0	0	0	.0	.0	0	210.4	214.3	..!	0	0
1964	Nov.	1	203.8	.0	.0	.0	.0	203.8	.0	.0	.0	.0	.0	0	.0	0	0	.0	.0	0	203.8	207.4	..!	.0	0